

文章编号:1674-8190(2018)03-434-07

战斗机维修作业体制对比权衡和分析研究

步兵,王卓健,刘帆,姜子晗

(空军工程大学 航空工程学院,西安 710038)

摘要: 维修作业体制的制定极大程度地影响维修保障的效率和效果,影响航空兵部队战斗力的发挥。对维修作业体制的研究有助于了解在不同环境下制定维修保障流程的原则和方法,以提高维修保障效率和装备的可靠性与经济性。运用层次分析法对维修作业体制进行探究,量化分析以维修体制为核心影响参数的评价体系,明确指标体系中的各指标所占的权重,并进行案例分析。结果表明:在不同的评价指标体系中,出动架次率和机群任务成功率所占的权重较大,而在二级指标中,规划保障所占的权重较大,说明了外场规划保障能力是影响维修作业体制的重要因素,为优化维修作业体制打下坚实的基础。

关键词: 战斗机;维修作业体制;层次分析法;出动架次率;机群任务成功率;使用可用度

中图分类号: V37

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2018.03.020

Contrastive Balance and Analysis Research of Fighter Maintenance Operation System

Bu Bing, Wang Zhuojian, Liu Fan, Jiang Zihan

(College of Aeronautics Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: The maintenance operation system greatly affects the efficiency of maintenance support, and the influence of the air force's combat effectiveness. Studying maintenance operation system can help us to understand the principles and methods of making the maintenance support process under different environment, and to achieve higher efficiency of maintenance reliability and economy. The AHP(analytic hierarchy process) is used to have quantitative research on the evaluation system whose core parameters depend on maintenance system. The weight of each index of evaluation system is analyzed. Results show that in different maintenance operation system, the sortie generation rate and fleet of mission success rate have the higher weight on the system, and in the secondary indicators of evaluation system, planning guarantee has a higher weight on it, which shows that the planning guarantee ability is a significant influence factor in maintenance operation system. It establishes a strong basis to optimize maintenance operation system.

Key words: fighter; maintenance operation system; analytic hierarchy process; sortie generation rate; fleet of mission success rate; operational availability

0 引言

随着科学技术和航空装备的迅速发展,航空维修逐步突破狭隘的操作技艺范畴,进入现代科学的广阔领域,成为整个航空工业和航空兵部队战斗力

的重要组成部分,在保障完成军事航空的各项任务和推进军队现代化建设中显现出越来越重要的作用^[1]。航空维修等级是按照维修机构的维修职能及其所承担的维修工作而划分的等级。航空维修等级的划分是科学组织维修工作、合理配置维修资源、提高维修效益的重要条件,是确定维修作业体制、设置维修机构的重要依据。划分维修等级,主要依据是航空装备的发展水平、维修思想、维修方式、维修作业内容分类和航空兵部队的体制编

收稿日期:2018-06-22; 修回日期:2018-07-09

通信作者:步兵,570494415@qq.com

制等。

维修观念的变化和技术的不断发展,使得飞机的维修保障体制也逐渐产生了一些变化。从最初的由飞机使用单位单独直接维修逐步演化为直接维修与维修基地维修相结合的二级维修体制。第二次世界大战以后,逐步建立了多级(主要有三、四级)维修体制,随着维修技术和理论不断发展,逐渐固定为三级维修体制,即基层级、中继级和后方基地级。

美国是最早引进二级维修体制的国家,也是在研究维修体制方面走在世界前列的国家。美国从F-22战斗机的服役开始,就逐步地实现维修体制的改革换代,由传统的三级维修体制转变为二级维修体制,在维修保障模式的研究上较为成熟和可靠^[2-3]。而F-22的维修保障效果也可以看出美国在二级维修上确实有成熟稳定的一套体制,二级维修体制的实施使得F-22的维修保障中间环节大幅减少,飞机转场的灵活性和机动性提高,飞机的全寿命周期费用减少。目前,我国在飞机的维修性保障方面采取的是三级维修体制,保障对象主要是现装备的飞机。三级维修体制在我国航空装备的建设中发挥了重要的作用。我国第四代战机即将服役,在对二级维修体制的研究中,以美军的经验为参考并结合我军的实际情况,探究维修体制的发展与变化。对于第四代战机,尽管是从二级维修体制提出具体保障要求,但是是否采用二级维修还需要进一步研究论证^[4]。

本文运用层次分析法,构建评价基层级维修作业体制的指标体系模型,以专家打分为评判基准,得到各级指标所占的权重,最终获得对维修作业体制具有不同程度影响的因素。

1 维修作业体制的制定

1.1 作战任务对维修作业体制的影响

在作战环境下,装备能否完成要求的作战任务是先决条件,短时间内多次完成任务的能力,即飞机应具有较高的出动架次率。在维修保障过程中应重点关注其作战能力及生存力,充分发挥战机在战斗环境下的战斗力^[5-6]。

在制定维修作业体制时,对战机的完好性评判环节,有助于对其故障的预先检测。由于作战任务具有时间紧张和时机关键的特点,在作战环境下对战机的检测应当采用视情维修的方法。视情维修是反映装备及其系统、机件技术的监控参数到达控制要求时的维修。维修工作的结果是装备或机件可以继续使用或重新加工后使用,也可以视情更换或报废。视情维修方式是基于一种事实进行的,即大量的故障不是瞬间发生的,故障从开始发生到发展成最后的故障状态,有一段出现异常现象的时间,而且有征兆可以查寻。因此,如果采用性能参数监控或无损检测等技术能找到跟踪故障迹象过程的办法,就可以采取措施预防故障发生或避免故障后果。对装备及其系统、机件特定参数的监控既可以是原位的,又可以是离位的;既可以规定一个适当的周期,又可以自动连续监控。视情维修的维修实际和内容的确定,取决于对维修对象技术状况检测结果所做的判断,因而其针对性和有效性强,能够较好地发挥装备及其系统、设备、机件的使用潜力,从而缩减维修保障的时间,使战机在作战环境下的战斗力得到充分发挥。

1.2 维修项目对维修作业体制的影响

在我国空军现有编制体制中,包涵现役的二代机、三代机以及初步列装的四代机。二代机、三代机和四代机在可靠性、维修性和保障性等设计特性上的不同很大程度上影响了维修作业体制的制定^[7]。我国空军现役飞机多数采用三级维修,而美国空军的四代机采用二级维修,因此主要研究三级维修与两级维修保障流程的异同。

四代机在设计阶段落实了维修性、可靠性和保障性的设计理念^[8],因此呈现出一些新的技术特点:一是新材料、新技术大量使用;二是具有良好的可达性,可维修性进一步提高;三是标准化和互换性程度进一步提高;四是防差错措施进一步完善。这些新的技术特点使战机的战术技术性能得到了很大的提高,同时也对部队的维修保障工作产生了一定的影响,提出了新的要求。由于平台能力大幅加强,机载设备综合化、集成化、信息化、体系化水平显著提升,相应的维修作业体制也会发生改变。

2 构建以维修作业体制为核心的指标参数体系

2.1 构建维修作业体制评价指标

维修作业评价指标体系^[9-13]是衡量维修作业体制有效性和先进性的一个重要方法。近年来,随着我国空军的迅速发展,大量新型飞机的列装,维修作业体制也在随着装备的变化而改变。因此,建立一个以维修作业体制为核心的参数指标体系,研究以维修作业体制为核心参数的指标体系,能极大地促进我国空军航空维修体制的发展,为我军维修体制的改革提供重要指导。

在以维修作业体制为核心参数的指标体系研究中,所涉及的影响因素广泛,各影响因素对维修体制能力的影响不同,所以对影响因素的权重需有一个定量的要求。而在确定权重的方法中,层次分析法是一种较为成熟和稳定的方法,因此本文采用层次分析法来对指标体系进行研究。指标体系的构建如图 1 所示。

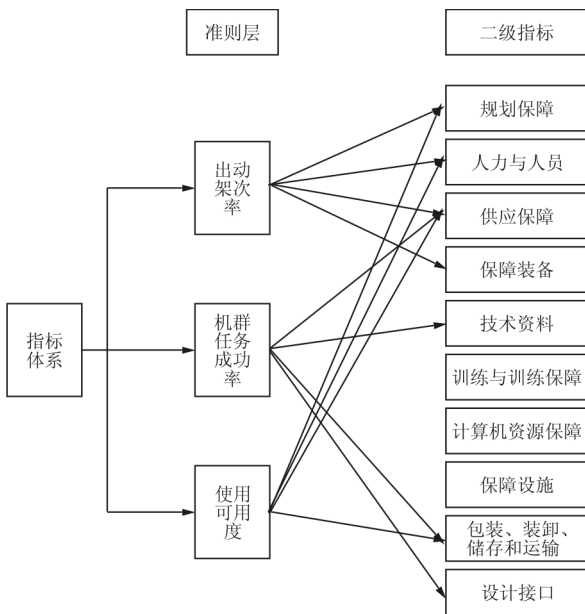


图 1 评价指标体系结构图

Fig. 1 The evaluating indicators system

2.2 确定指标体系权重

依据本文所建立的一级指标和二级指标间的关系,组织 n 位专家参照判断尺度表(如表 1 所示)和判断尺度比值矩阵进行判断,得到 n 份权值因子判别表。

表 1 判断尺度表

Table 1 The judgement scale

判别尺度	定义
1	C_i 与 C_j 的影响相同
3	C_i 与 C_j 影响稍强
5	C_i 与 C_j 影响强
7	C_i 与 C_j 影响明显地强
9	C_i 与 C_j 影响绝对地强
2,4,6,8	C_i 与 C_j 的影响之比在上述两相邻等级之间
1,1/2,1/3,⋯,1/9	C_i 与 C_j 的影响之比为上述 a_{ij} 的相反数

判断尺度比值矩阵为

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{21} & a_{31} & \cdots & a_{i1} & \cdots & a_{n1} \\ a_{12} & 1 & a_{32} & \cdots & a_{i2} & \cdots & a_{n2} \\ a_{13} & a_{23} & 1 & \cdots & a_{i3} & \cdots & a_{n3} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{1j} & a_{2j} & a_{3j} & \cdots & 1 & \cdots & a_{nj} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{1n} & a_{2n} & a_{3n} & \cdots & a_{in} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

基于指标两两“比较值相近性”的原则进行分组,计算出各组相应比较结果的算术平均值(若该值不小于 1,则四舍五入;若该值小于 1,则将其分子归一,分母四舍五入)。将所得平均值按照“1~9”尺度表,取其最接近的“1~9”尺度值按照以下形式构建若干组正互反判断矩阵:

$$A_i = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

通常,特征向量求法分两种情况:

情况一:矩阵 A 为一致阵,矩阵具有如下关系:

- ① $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}$
- ② 矩阵的秩均为 1;
- ③ 矩阵任一列向量均为矩阵的特征向量;
- ④ 当 $n \leq 3$ 时,矩阵通常为一致阵。此时,任意取一列向量,按照式(2)进行“归一化”运算处理,将通过以上步骤获得的各组矩阵特征向量集对应值进行算术平均得到最后的权重集合。

$$\omega_i = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (i, j = 1, 2, \cdots, n) \quad (2)$$

$$\omega = [\omega_1, \omega_2, \cdots, \omega_n]^T$$

情况二: A 矩阵非一致阵, 由线性代数中的“和法”求取判断矩阵的特征向量, 步骤如下:

第一步: 将 A 的每一列向量归一化得

$$\bar{\omega}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

第二步: 对 $\bar{\omega}_{ij}$ 按照行求和得

$$\bar{\omega}_i = \sum_{j=1}^n \bar{\omega}_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

第三步: 对 $\bar{\omega}_i$ 进行归一化处理, $\omega_i = \frac{\bar{\omega}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{\omega}_i}, \omega$

$= [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]^T$ 即为近似特征向量, $i, j = 1, 2, \dots, n$;

第四步: 最后的权重集合确定: 把所有经过 $\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]^T$ (ω_n 由和法求出, 且有 $\omega_n > 0, \sum_{i=1}^n \omega_n = 1$) 求取的多组矩阵特征向量集对应值进行算术平均计算。

当指标数 $n \geq 3$ 时, 需要检验一致性。一致性检验方法: 一致性指标为 $C.I$, 且 $C.I$ 越小, 则说明一致性越大。由于一致偏离可由随机因素引起, 在检验判断矩阵的一致性时, 将 $C.I$ 与平均随机一致性指标 $R.I$ 进行比较, 得出检验数 $C.R$ 。

$$C.R = \frac{C.I}{R.I} \quad (3)$$

$$C.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

由式(4)计算出 $C.I$ 的数值, $R.I$ 数值由随机一致性指标 RI 的数值表(如表 2 所示)根据 n 数查取, 利用式(3)计算出 $C.R$ 的数值, 通常情况下, 若想通过一致性检验, 则必须保证 $C.R$ 检验数小于 0.1。

表 2 随机一致性指标 RI 的数值

Table 2 The value of random consistency indicators

n	$R.I$	n	$R.I$
2	0.00	8	1.41
3	0.58	9	1.45
4	0.90	10	1.49
5	1.12	11	1.51
6	1.24
7	1.32		

通过对多组权重特征向量取算术平均数, 可以

获得指标体系中各指标的权重数值, 从而到达对指标体系研究的目的。

3 案例分析

3.1 仿真条件设定

根据“相似性”的原则, 将专家的问卷调查划分为四组(参与调查的专家为 20 人)。根据以上步骤, 得出四组专家对三个一级指标(出动架次率、机群任务成功率和使用可用度)两两比较的近似值。根据近似值以及式(1)分别建立 4 个正负判断矩阵:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 4 \\ 2 & 1 & 6 \\ 1/4 & 1/6 & 1 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 5 \\ 3 & 1 & 7 \\ 1/5 & 1/7 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 3 \\ 2 & 1 & 5 \\ 1/3 & 1/5 & 1 \end{bmatrix} \quad A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 6 \\ 3 & 1 & 8 \\ 1/6 & 1/8 & 1 \end{bmatrix}$$

分析可知, 以上矩阵均为非一致阵。按照上述四个步骤计算得到以下结果:

$$\omega_1 = [0.323 \ 8, 0.587 \ 0, 0.089 \ 2]^T$$

$$\omega_2 = [0.282 \ 8, 0.643 \ 4, 0.073 \ 8]^T$$

$$\omega_3 = [0.309 \ 1, 0.581 \ 3, 0.109 \ 6]^T$$

$$\omega_4 = [0.289 \ 5, 0.646 \ 3, 0.064 \ 1]^T$$

上述四个集合就是三个指标在四组专家判断的权重集合, 经过算术平均计算得到专家对三个指标的权重向量为

$$\omega = [0.301 \ 3, 0.614 \ 5, 0.084 \ 2]^T$$

3.2 仿真结果分析

依据所得的三个指标权重向量, 得到飞机架次出动率、机群任务成功率以及使用可用度三个一级指标下的二级指标权重。

(1) 出动架次率下的二级指标的权重

计算得出出动架次率下四个二级指标(规划保障、人力与人员、供应保障和保障装备)两两比较的近似值。

同 3.1 节的步骤, 根据得出的近似值建立判断矩阵:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 2 & 3 \\ 1/4 & 1 & 1/2 & 3/4 \\ 1/2 & 2 & 1 & 3/2 \\ 1/3 & 4/3 & 2/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1/2 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 & 2 \\ 1/3 & 1 & 2/3 & 2/3 \\ 1/2 & 3/2 & 1 & 1 \\ 1/2 & 3/2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

第一步:确定指标权重

通过计算得到以下结果:

$$\omega_1 = [0.480\ 0, 0.120\ 0, 0.240\ 0, 0.160\ 0]^T$$

$$\omega_2 = [0.333\ 3, 0.166\ 7, 0.333\ 3, 0.166\ 7]^T$$

$$\omega_3 = [0.428\ 6, 0.142\ 6, 0.214\ 3, 0.214\ 3]^T$$

$$\omega_4 = [0.400\ 0, 0.200\ 0, 0.200\ 0, 0.200\ 0]^T$$

上述四个集合是三个指标在四组专家判断的权重集合,经过算术平均计算得到专家对三个指标的权重向量为

$$\omega = [0.410\ 5, 0.157\ 3, 0.246\ 9, 0.185\ 3]^T$$

第二步:进行一致性检验

根据式(3)~式(4),计算得 $C.R$ 小于 0.1,符合一致性要求。

(2) 机群任务成功率下的二级指标的权重

计算得出机群任务成功率下四个二级指标(供应保障、技术资料、设计接口、包装和运输等)两两比较的近似值。

同 3.1 节的步骤,根据得出的近似值建立判断矩阵:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 1 & 1/3 \\ 1 & 3 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 & 2 \\ 1/3 & 1 & 2/3 & 2/3 \\ 1/2 & 3/2 & 1 & 1 \\ 1/2 & 3/2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1/2 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1/2 \\ 1 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

第一步:确定指标权重

通过计算得到以下结果:

$$\omega_1 = [0.345\ 0, 0.125\ 0, 0.125\ 0, 0.375\ 0]^T$$

$$\omega_2 = [0.400\ 0, 0.200\ 0, 0.200\ 0, 0.200\ 0]^T$$

$$\omega_3 = [0.428\ 6, 0.142\ 6, 0.214\ 3, 0.214\ 3]^T$$

$$\omega_4 = [0.333\ 3, 0.166\ 7, 0.166\ 7, 0.333\ 3]^T$$

上述四个集合是三个指标在四组专家判断的权重集合,经过算术平均计算得到专家对三个指标的权重向量为

$$\omega = [0.384\ 2, 0.158\ 6, 0.176\ 5, 0.280\ 7]^T$$

第二步:进行一致性检验

根据式(3)~式(4),算得 $C.R$ 小于 0.1,符合一致性要求。

(3) 使用可用度下的二级指标的权重计算

计算得出使用可用度下四个二级指标(规划保障、人力与人员、供应保障、包装和运输等)两两比较的近似值。

同 3.1 节的步骤,根据得出的近似值建立判断矩阵:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 2 & 1 \\ 1/4 & 1 & 1/2 & 1/4 \\ 1/2 & 2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 4 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1/2 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 & 2 \\ 1/3 & 1 & 2/3 & 2/3 \\ 1/2 & 3/2 & 1 & 1 \\ 1/2 & 3/2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1/2 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

第一步:确定指标权重

通过计算得到以下结果:

$$\omega_1 = [0.1616, 0.0909, 0.1818, 0.3636]^T$$

$$\omega_2 = [0.3333, 0.1667, 0.3333, 0.1667]^T$$

$$\omega_3 = [0.4286, 0.1429, 0.2143, 0.2143]^T$$

$$\omega_4 = [0.3333, 0.1667, 0.3333, 0.1667]^T$$

上述四个集合是三个指标在四组专家判断的权重集合,经过算术平均计算得到专家对三个指标的权重向量为

$$\omega = [0.3647, 0.1417, 0.2657, 0.2278]^T$$

第二步:进行一致性检验

根据式(3)~式(4),算得 C.R 小于 0.1,符合一致性要求。

通过对以上的指标体系的各成分进行分析,得出以维修体制为核心影响因素的“飞机架次出动率,机群任务可靠度和使用可用度”的指标体系的权重图,如图 2 所示。

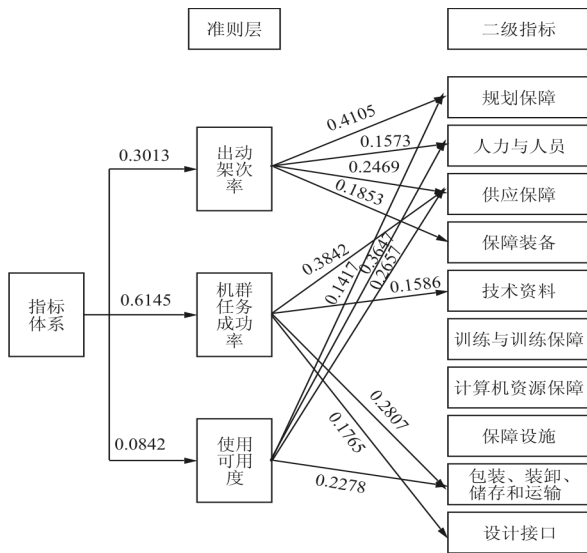


图 2 指标体系权重图

Fig. 2 The weight of index system

评价维修体制的维修保障能力时,机群任务成功率是占据权重成分最高的。架次出动率在一级指标中所占权重为0.3103,出动架次率关乎战时的实际作战能力,是评价维修体制的重要标准。在

维修体制中要更加注重实现维修组织管理的便利性和有效性,提高部队的真实战斗力。在三个一级指标中,使用可用度所占的权重最低。使用可用度是一个侧重于平时训练的一个指标,以战时的评价标准,所占的权重小也是可以预见的。

在二级指标中,规划保障在各一级指标中均占据了较大的权重,说明规划保障在指标体系中的重要性。在不同的维修作业体制中,规划保障指标也存在较大的差异性,二级维修体制下,规划保障更多地是强调视情维修,而在三级维修体制中,则侧重于定时维修,由于规划保障侧重点的差异,导致了指标体系评判结果的不同。供应保障在二级指标中所占比重也比较大,同时二级和三级维修在供应保障这一评价指标上也存在较大的差异。三级维修中备件的转移较为繁杂困难,主要通过消耗备件的维修来进行供应保障,而在二级维修中,备件转移过程环节减少,使得备件的存储率和转移时间都有很大程度的减少,从而能提高飞机的出动架次率、任务成功率和使用可用度,提高部队的战斗力。

4 结 论

(1) 本文构建了以维修体制为核心影响参数的指标评价体系,针对维修体制这一变量,构建了二级指标。运用层次分析法对指标评价体系的各指标权重进行了量化研究,并对各指标权重的情况进行了分析和探讨。

(2) 在二级维修作业体制中,飞机的各项战备完好性指标均优于三级维修体制,二级维修作业体制能有效地降低维修备件的周转时间,缩短备件供应链,提升基层级的维修保障效率。因此,对于第四代具有高技术水平的战斗机,更适合采用二级维修作业体制。

参考文献

[1] 郑东良. 航空维修理论[M]. 北京:国防工业出版社, 2012.
Zheng Dongliang. Aviation maintenance theory[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2012. (in Chinese)

[2] 李赞平,王勇,辛慧. 新技术下我军航空维修保障体制研究[J]. 西北民族大学学报:自然科学版, 2006, 27(1): 23-26.

- Li Zanping, Wang Yong, Xin Hui. Studies of the aviation maintenance and support mode based on high techniques [J]. Journal of Northwest University for Nationalities: Natural Science, 2006, 27(1): 23-26. (in Chinese)
- [3] 蔡丽影, 毛丰超, 王凯, 等. 美陆军两级维修体制改革及启示[J]. 装备学院学报, 2014, 25(5): 40-44.
Cai Liying, Mao Fengchao, Wang Kai, et al. Research on the US army two-level maintenance system transformation and inspirations[J]. Journal of Equipment Academy, 2014, 25(5): 40-44. (in Chinese)
- [4] 卢永吉, 王远达, 侯健. 军机维修体制发展方向及关键技术研究[J]. 飞机设计, 2008, 28(4): 73-76.
Lu Yongji, Wang Yuanda, Hou Jian. Research on the development direction and key technologies of maintenance system for military aircraft[J]. Aircraft Design, 2008, 28(4): 73-76. (in Chinese)
- [5] 郑东良. 航空维修管理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
Zheng Dongliang. Aviation maintenance management[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006. (in Chinese)
- [6] 姜明远, 马震宇. 航空维修安全导论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014.
Jiang Mingyuan, Ma Zhenyu. The theory of aviation maintenance safety [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2014. (in Chinese)
- [7] 张凤鸣, 郑东良, 吕振中. 航空装备科学维修导论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
Zhang Fengming, Zheng Dongliang, Lü Zhenzhong. The theory of aviation equipment science maintenance[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007. (in Chinese)
- [8] 张子丘, 王建平. 装备技术保障概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
Zhang Ziqiu, Wang Jianping. The theory of equipment technology supporting[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2005. (in Chinese)
- [9] 李航航. 战斗机维修体制探析[J]. 航空科学技术, 2006(5): 6-9.
Li Hanghang. Research on the repair system of fighter[J]. Aeronautical Science and Technology, 2006(5): 6-9. (in Chinese)
- [10] 王瑞朝, 王远达, 卢永吉. 军用飞机两级维修体制探析[J]. 国防技术基础, 2009(3): 31-34.
Wang Ruichao, Wang Yuanda, Lu Yongji. The research of two-level maintenance operation system in military aircraft [J]. Technology Foundation of National Defense, 2009(3): 31-34. (in Chinese)
- [11] 卢永吉, 王远达, 王瑞朝. 军机两级维修总体框架研究[J]. 航空精密制造技术, 2009, 45(4): 57-61.
Lu Yongji, Wang Yuanda, Wang Ruichao. Research on the collectivity frame of two-level maintenance for military aircraft [J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2009, 45(4): 57-61. (in Chinese)
- [12] 张兴媛, 曹文达, 徐达, 等. 航空维修保障能力的评估体系研究[J]. 上海工程大学学报, 2011, 25(3): 281-284.
Zhang Xingyuan, Cao Wenda, Xu Da, et al. Research on evaluation system of aviation maintenance management capability [J]. Journal of Shanghai University of Engineering Science, 2011, 25(3): 281-284. (in Chinese)
- [13] 郭俊强, 王远达, 王瑞朝. 现役军机简化维修体制的论证方法研究[J]. 飞机设计, 2009, 29(5): 73-77.
Guo Junqiang, Wang Yuanda, Wang Ruichao. Research on the demonstration method of reducing maintenance system for military aircraft in service [J]. Aircraft Design, 2009, 29(5): 73-77. (in Chinese)

作者简介:

步兵(1993—),男,硕士研究生。主要研究方向:飞行器与动力作战使用保障工程和技术。

王卓健(1974—),男,博士,副教授。主要研究方向:飞行器发展论证与RMS工程。

刘帆(1993—),男,本科生。主要研究方向:飞行器与动力工程。

姜子晗(1996—),男,本科生。主要研究方向:飞行器与动力工程。

(编辑:赵毓梅)